

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Hasil Penelitian Terdahulu**

Dito Pranawan, dkk., (2016) melakukan penelitian Pengaruh Teknik Pengelasan Alur Memutar (*spiral*) dan Lurus pada Arus 85 A Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST-41. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan yang dipengaruhi posisi pengelasan dan jenis elektroda E6013 pada hasil pengelasan baja ST-41. Elektroda yang digunakan ada dua jenis, yaitu E6013 dipergunakan pada *root* dan E7016 sedangkan jenis pengelasan menggunakan las SMAW dengan sambungan tipe *butt joint* dan menggunakan kampuh V 70°. Hasil kekuatan tarik baja ST 41 berpengaruh tetapi pengaruhnya tidak signifikan oleh gerakan lurus sebesar 30,28 kgf/mm<sup>2</sup>, namun diperoleh hasil yang lebih tinggi pada gerakan elektroda spiral sebesar 33,40 kgf/mm<sup>2</sup>.

Saiful Huda, dkk., (2013) melakukan penelitian Analisa Pengaruh Variasi Arus Dan Kampuh Pada Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Sudut Dan Kekuatan Tarik Sambungan Butt-Join Baja AISI 4140. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi arus pada pengelasan SMAW yang diterapkan pada baja karbon paduan rendah AISI 4140 dengan ketebalan 8 mm. Pengelasan ini menggunakan variasi arus 100, 110 dan 120 Ampere dengan elektroda E6013 dengan diameter 3,2 mm. Sedangkan kampuh yang digunakan yaitu bentuk kampuh V, U dan X. Pengujian yang dilakukan menggunakan uji tarik dengan menggunakan standart JIS Z 2201 (1968).

#### **2.2 Pengertian Las**

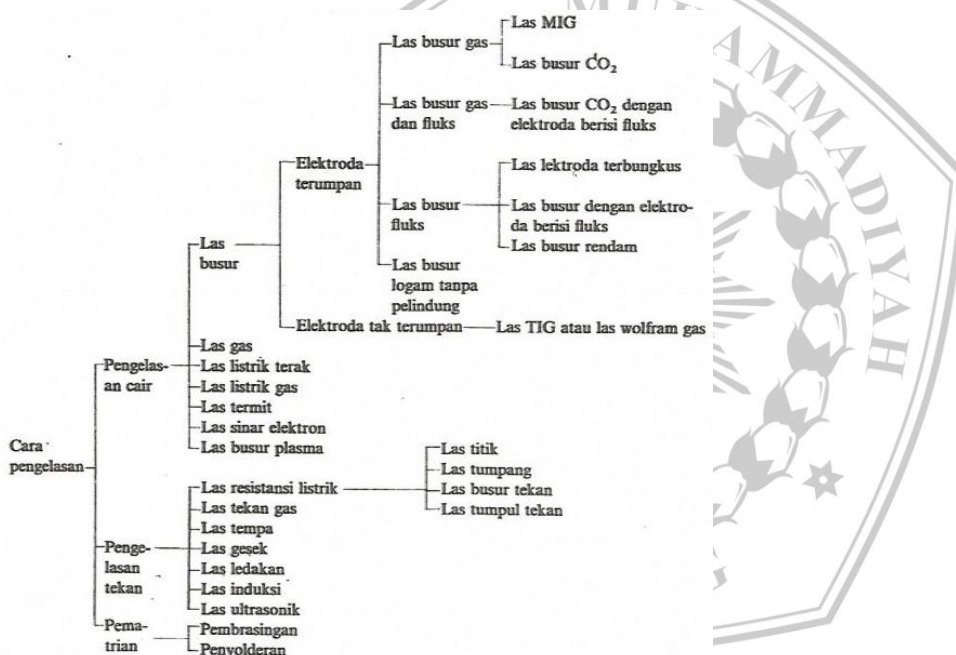
##### **2.2.1 Definisi Las**

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*), adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto, 2008 ).

### 2.2.2 Klasifikasi Cara-cara Pengelasan

Berdasarkan Klasifikasi pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

1. Pengelasan cair (*fusion welding*) adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan (*solid state welding*) adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian (*Brazing*) adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut cair. (Wiryosumarto, 2008)



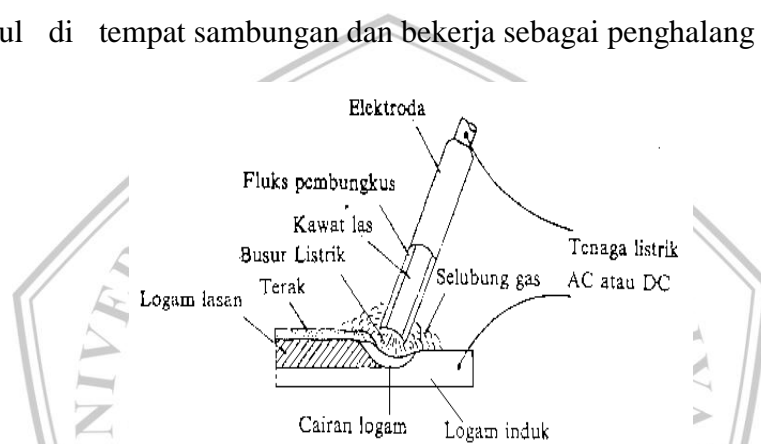
**Gambar 2.1 : Macam-macam Cara Pengelasan** (Wiryosumarto, 2008)

### 2.3 Las Busur Listrik

Las busur yang merupakan pengelasan dengan menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas).

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.



**Gambar 2.2 : Las SMAW (Wiryo Sumarto, 2008)**

#### **2.4 Las Busur Listrik dengan Elektroda Terbungkus**

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik terbungkus listrik juga disebut sebagai las SMAW (Shield Metal Arc Welding) memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah.

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Bahan *Fluks* dalam las elektroda terbugkus memegang peranan penting karena *fluks* dapat bertindak sebagai :

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara di sekitarnya.
3. Pengatur penggunaan
4. Sumber unsur-unsur paduan

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. (Wiryosumarto, 2008).

**Tabel 2.1 : Macam dan Fungsi Bahan Fluks.** (Wiryosumarto, 2008)

Bahan Fluks \ Pengaruh	Peman-tap busur	Pemben-tuk terak	Deoksi-dator	Oksi-dator	Pem-bentuk gas	Penambah-an unsur paduan	Penguat pembung kus	Pengi-kat fluks
Selulosa			○		○		○	
Lempung Silikat	○	○						
Talek	○	○						
Titanium oksida	○	○						
Ilmenit	○	○						
Feroksida	○	○		○				
Kalsium karbonat	○	○		○	○			
Ferro mangan		○	○			○		
Mangan dioksida		○		○		○	○	
Pasir Silisium		○		○		○		
Kalium silikat	○	○						○
Natrium silikat	○	○						○

○ Fungsi utama  
 ○ Fungsi tambahan

## 2.5 Elektroda

Penggunaan elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standar yang sering digunakan seperti di Jepang(JIS), di Amerika Serikat (ASTM) dan standar asosiasi las Amerika(AWS). Standart tersebut sering digunakan pada

pengelasan yang dilakukan di Indonesia untuk menjadi parameter agar hasil pengelasan dapat mencapai kualitas terbaik. Walaupun simbol-simbol yang digunakan pada standar tersebut cukup berbeda, tetapi antara sistem standar tersebut pada dasarnya sama.

Elektroda yang digunakan dalam proses SMAW memiliki banyak perbedaan baik komposisi kawat las maupun jenis fluks. Diameter standar elektroda (diameter kawat las) bervariasi mulai dari 1,6 hingga 8 mm, sedangkan panjangnya mulai dari 230 hingga 455 mm. (Hery Sonawan, 2003 ).

*American Welding Society* (AWS) telah membuat suatu sistem klasifikasi untuk mengidentifikasi berbagai elektroda las. Seluruh elektroda baja karbon dan baja paduan proses las SMAW, cara penulisannya diawali huruf E yang menandakan elektroda dan diikuti dengan 4 digit angka (AWS EXXXX). Dua digit pertama merupakan kekuatan tarik dari logam las (all weld metal) dalam satuan ksi. Digit ketiga menandakan posisi pengelasan dan digit keempat merupakan jenis fluks yang menyelimuti kawat las elektroda. Misalkan jika disebutkan elektroda dengan tipe AWS EX<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>X<sub>4</sub> / E7018 maka berarti :

E = elektroda (E7018 diameter 3,2 mm).

X<sub>1</sub>X<sub>2</sub> / 70 = kekuatan tarik logam las (dalam ksi) (kekuatan Tarik

E7018 = 70 ksi).

X<sub>3</sub> / 1 = posisi pengelasan.

1. semua posisi pengelasan.
2. posisi pengelasan mendatar dan horizontal.
3. posisi pengelasan mendatar.
4. X<sub>4</sub> / 8 = jenis fluks (E7018 memiliki jenis fluks serbuk besi). Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (*fluks*), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.2 : Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak. (AWS A5.1-4T) (Wirjosumarto, 2008)**

**Tabel 2.5 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak. (AWS A5.1-64T)**

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi <sup>a)</sup> pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E6010.....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011.....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012.....	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013.....	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020.....	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E7014.....	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015.....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016.....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024.....	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah
E6010, E6011.....	
E6027, E7015.....	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018.....	
E7028.....	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013.....	
E6020, E7014.....	tidak diwajibkan

<sup>a)</sup> Arti simbol: F = datar  
V = vertikal  
OH = atas kepala  
H = horizontal  
H-S = horizontal las sudut

Berdasarkan jenis elektroda dan diameter kawat elektroda arus mesin las dapat ditentukan seperti pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.3 : Spesifikasi Arus Menurut Tipe Elektroda dan Diameter dari Elektroda (Soetardjo, 1997).**

Diameter	Tipe elektroda dan amper yang digunakan						
Mm	Inch	E 6010	E 6014	E 7018	E 7024	E 7027	E 7028
2,5	3/32	-	80-125	70-100	70-145	-	-
3,2	1/8	80-120	110-160	115-165	140-190	125-185	140-190
4	3/32	120-160	150-210	150-220	180-250	160-240	180-250
5	3/16	150-200	200-275	200-275	230-305	210-300	230-250
5,5	7/32	-	260-340	360-430	275-375	250-350	275-365
6,3	1/4	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	5/16	-	90-500	375-470	-	-	-

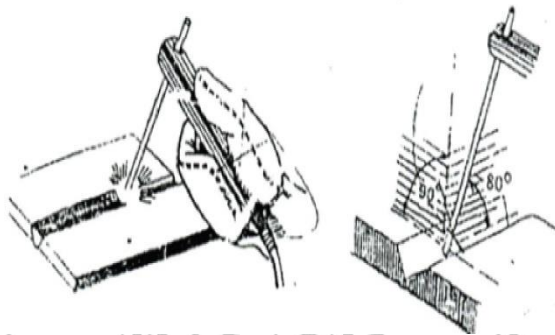
## 2.6 Posisi Pengelasan

Setiap proses pengelasan memiliki desain sambungan yang berfungsi untuk mendapatkan hasil sambungan yang baik dan lolos pengujian sesuai standart kode yang digunakan. Oleh karenanya pemilihan jenis sambungan dan posisi pada pengelasan sangat penting sebelum proses pengelasan. Hal tersebut dikarenakan hasil pengelasan pada material akan mempengaruhi ketahanan material terhadap kekuatan tarik, tekan yang terjadi pada sambungan tersebut. Posisi pengelasan tersebut dibedakan menurut jenis sambungannya yaitu sambungan tumpul, sambungan sudut, sambungan tumpul pada pipa dan sambungan sudut pada pipa.

### A. Sambungan Tumpul

#### 1. Posisi datar di bawah tangan (1G)

Pada posisi ini dilakukan pengelasan dengan posisi logam induk dibawah tangan dan elektroda berada di atas dengan kemiringan 75 – 80 derajat. Posisi ini digunakan untuk pengelasan pada pelat, juga pipa tetapi untuk pipa pengelasan dilakukan dengan memutar pipa sedangkan posisi tangan tetap.



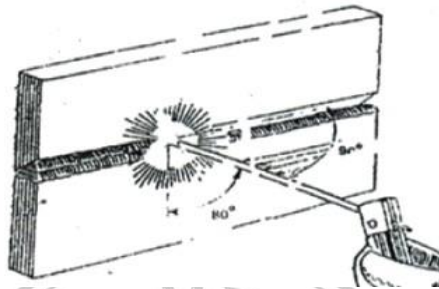
**Gambar 2.3 : Posisi Pengelasan 1G.**

Sumber : (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=685>)



## 2. Posisi datar horizontal (2G)

Mengelas dengan horizontal biasa disebut juga mengelas merata dimana kedudukan benda kerja dibuat tegak dan arah elektroda mengikuti horizontal. Sewaktu mengelas elektroda dibuat miring sekitar  $5^{\circ} - 10^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $70^{\circ} - 80^{\circ}$  ke arah benda kerja.

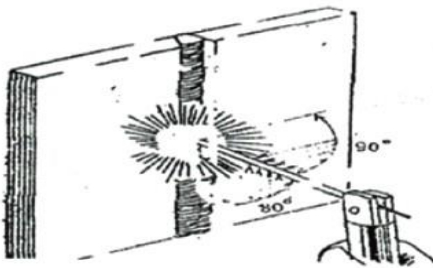


**Gambar 2.4 : Posisi Pengelasan 2G**

Sumber : (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=685>)

## 3. Posisi tegak vertikal (3G)

Pengelasan ini termasuk pengelasan yang cukup sulit karena bahan cair yang mengalir dapat menumpuk diarah bawah tetapi dapat diperkecil dengan kemiringan elektroda sekitar  $10^{\circ} - 20^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $70^{\circ} - 85^{\circ}$  terhadap benda kerja.



**Gambar 2.5 : Posisi Pengelasan 3G**

Sumber : (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=685>)

Posisi pengelasan 3G merupakan pengelasan menggunakan kampuh V pada benda kerja yang akan dilas dengan posisi bidang pengelasan (logam induk) berada di posisi tegak. Ada dua jenis pengelasan 3G vertikal yaitu pengelasan vertikal up (uphill) dan vetikal down (downhill).

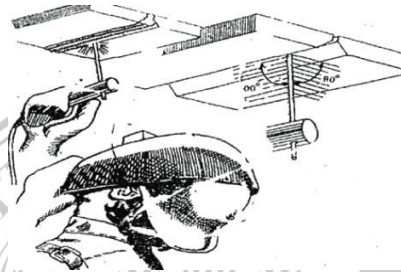
Posisi pengelasan ke atas umumnya banyak digunakan karena karna dianggap panas dari elektroda dapat menembus lebih dalam pada benda kerja (logam induk) sehingga penetrasi juga jauh lebih dalam.



#### 4. Posisi di atas kepala (*over head*) (4G)

Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai juru las. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda sekitar  $5^{\circ}$  –  $20^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $75^{\circ}$  –  $85^{\circ}$  terhadap benda kerja

Posisi pengelasan ini sangat sukar dan berbahaya karena bahan cair banyak berjatuhan dapat mengenai juru las. Mengelas dengan posisi ini benda kerja terletak pada bagian atas juru las dan kedudukan elektroda sekitar  $5^{\circ}$  –  $20^{\circ}$  terhadap garis vertikal dan  $75^{\circ}$  –  $85^{\circ}$  terhadap benda kerja.

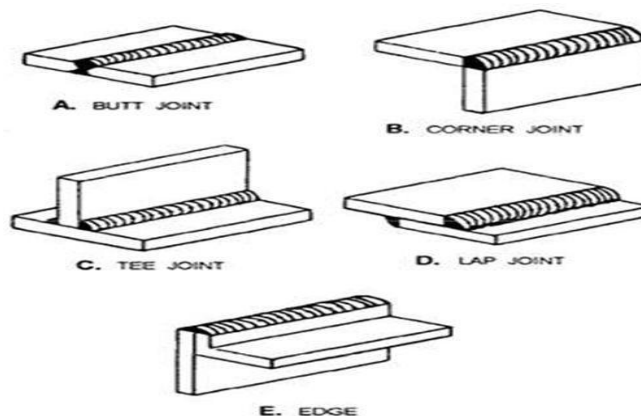


**Gambar 2.6 : Posisi Pengelasan 4G**

Sumber : (<http://hima-tl.ppns.ac.id/?p=685>)

#### B. Sambungan Sudut

Posisi pengelasan pada sambungan sudut sebenarnya hampir sama dengan posisi pengelasan yang digunakan pada sambungan tumpul. Yang membedakan ialah posisi logam induk bertemu antar ujungnya dan membentuk sebuah sudut. Posisi pengelasan pada sambungan sudut tersebut antara lain:



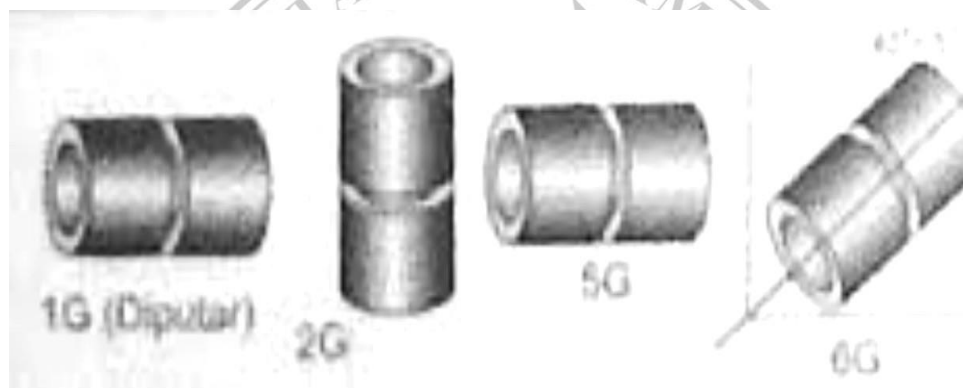
**Gambar 2.7 : Posisi Pengelasan Sambungan Sudut**

Sumber : (<http://pengelasan.com>)

### C. Sambungan Tumpul Pada Pengelasan Pipa

Pengelasan pada pipa memerlukan keahlian lebih mendalam dikarenakan bentuk bidang pada pipa melengkung tidak rata seperti pengelasan pada plat. Ada beberapa posisi pengelasan yang digunakan pada pengelasan pipa antara lain :

1. Pengelasan pipa PA/1G: Posisi sumbu mendatar dan pipa dapat diputar.
2. Pengelasan pipa PC/2G: Posisi sumbu tegak dengan pipa dapat diputar.
3. Pengelasan pipa PF/5G: Posisi sumbu mendatar, tidak dapat diputar dengan arah pengelasan naik.
4. Pengelasan pipa PG/5G: Posisi sumbu mendatar, tidak dapat diputar dengan arah pengelasan turun.
5. Posisi Pengelasan HLO45/6G: Posisi sumbu miring 45 derajat dan tidak dapat diputar.



**Gambar 2.8 : Posisi Pengelasan Sambungan Tumpul Pada Pipa**

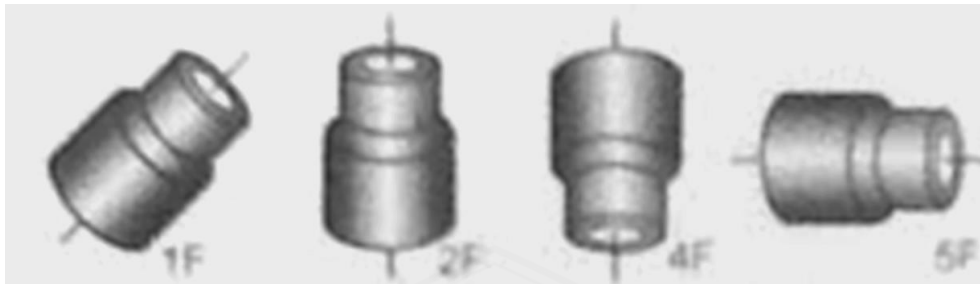
Sumber : ([http:// jetzukaj.blogspot.co.id/2014/02/posisi-pengelasan.html](http://jetzukaj.blogspot.co.id/2014/02/posisi-pengelasan.html))

### D. Sambungan Sudut pada Pengelasan Pipa

Perbedaan yang terdapat antara sambungan pengelasan tumpul pipa dan sambungan pengelasan pada pipa terdapat pada posisi benda kerja yang memiliki selisih derajat kemiringan dan posisi juru las melakukan pengelasan pada pipa tersebut. Sambungan tumpul pada pengelasan pipa antara lain :

1. Pengelasan pipa PA/1F : sumbu pipa pada kemiringan 45 derajat dan pipa dapat diputar.
2. Pengelasan pipa PA/2F : sumbu pipa tegak dan pipa dapat diputar.
3. Pengelasan pipa PD/4F : sumbu pipa tegak dan pipa berada di atas tetapi dapat diputar.

4. Pengelasan pipa PF/5F : sumbu pipa mendatar, tidak dapat diputar dengan arah pengelasan naik.
5. Pengelasan pipa PG/5F : sumbu pipa mendatar, tidak dapat diputar dengan arah pengelasan turun.

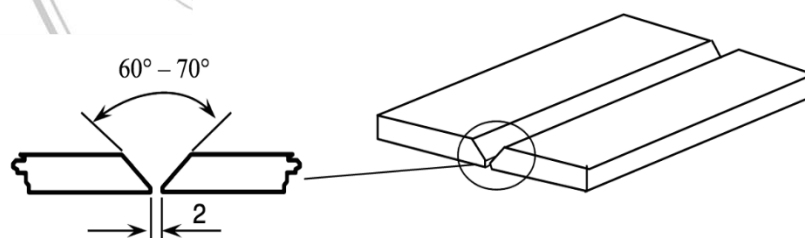


**Gambar 2.9 : Posisi Pengelasan Sambungan Sudut Pada Pipa**

Sumber : ([http:// jetzukaj.blogspot.co.id/2014/02/posisi-pengelasan-dasar.html](http://jetzukaj.blogspot.co.id/2014/02/posisi-pengelasan-dasar.html))

## 2.7 Kampuh V

Sambungan kampuh (*groove*) V dipergunakan untuk menyambung logam atau plat dengan ketebalan 6-15 mm ke. Sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan sambungan kampuh V tertutup. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung plat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara  $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$ , jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm (Hery Sonawan, 2004: II-24).



**Gambar 2.10 : Kampuh V**

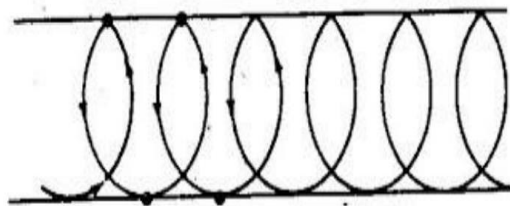
Sumber : (Hery Sonawan, 2004 : II-24)

## 2.8 Gerakan Elektroda

Gerakan elektroda atau ayunan elektroda sewaktu mengelas logam dilakukan untuk menghasilkan rigi-rigi las yang baik dan memperdalam penembusan busur nyala (Arifin, 1977: 60). Ada banyak cara dalam menggerakkan atau mengayukan elektroda. Tujuan dari gerakan elektroda las ini adalah untuk mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus dan menghindari terjadinya takikan dan percampuran terak. Dalam hal ini yang penting adalah menjaga agar sudut elektroda dan kecepatan gerakan elektroda tidak berubah (Wiryosumarto, 2000).

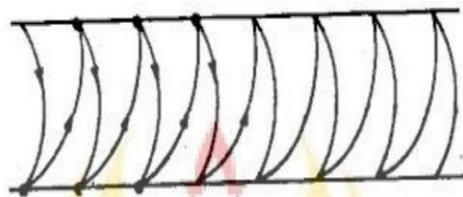
Kecepatan dalam menggerakkan elektroda waktu mengelas harus stabil sehingga menghasilkan rigi-rigi las yang halus dan rata. Jika pergerakan elektroda terlalu lambat akan dihasilkan jalur yang kuat dan lebar akan tetapi dapat menimbulkan kerusakan sisi las terutama bila bahan dasar tipis. Jika elektroda digerakkan terlalu cepat, tembusan lasnya akan dangkal karena kurang waktu pemanasan bahan dasar dan kurang waktu untuk cairan elektroda menembus.

Bahan dasar. Bila kecepatan gerakan elektroda tepat, daerah perpaduan dengan bahan dasar dan tembusan lasnya baik. Pada penelitian ini gerakan elektroda yang digunakan adalah gerakan spiral, zig-zag dan segitiga. Berikut akan ditampilkan gambar tentang gerakan atau ayunan tersebut :



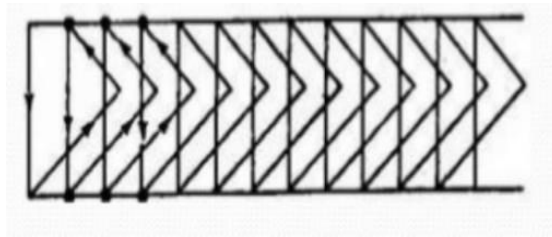
**Gambar 2.11 : Gerakan Elektroda Ulir**

Sumber : (Daryanto, 2012 )



**Gambar 2.12 : Gerakan Elektroda Spiral**

Sumber : (Daryanto, 2012 )



**Gambar 2.13 : Gerakan Elektroda Zigzag**

Sumber : (Daryanto, 2012)

## **2.9 Kekuatan Statik**

### **2.9.1 Kekuatan Tekan (*Bending*)**

Untuk mengetahui sifat logam diperlukan pengujian terhadap sample yang disiapkan sebagai spesimen dengan ukuran dan bentuk tertentu. Selain itu juga harus sesuai prosedur standart yang telah ditentukan sehingga hasil pengujian dapat diambil kesimpulan untuk mengetahui sifat logam. Salah satu sifat logam yang harus diketahui adalah sifat mekanik logam yaitu meliputi kekuatan, kekerasan, keuletan, kekakuan, plastisitas, ketangguhan dan kelelahan.

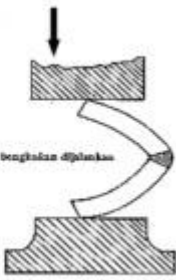
Mengingat pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian bending, maka teori berikut perlu disampaikan untuk mendukung proses penelitian. Pengujian lentur (*bending test*) merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan, baik bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima beban lentur maupun proses pelenturan dalam pembentukan. Pengujian ini merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik yang berada ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan.

Menurut Syahrani, et al., (2013: 397) untuk mengetahui kekuatan lentur (*bending*) suatu material dapat dilakukan dengan pengujian lentur terhadap spesimen tersebut. Kekuatan bending atau kekuatan lentur adalah tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan bending tergantung pada jenis spesimen dan pembebanan. Pada pengujian bending ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur dari material.

Pengujian dilakukan dengan jalan memberi lentur secara perlahan-lahan sampai spesimen mencapai titik lelah (Katulistiwa, 2014: 64). Pengujian bending sering

dipergunakan untuk mengetahui aspek- aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan seperti kekuatan, elastisitas, memeriksa mekanis dari material las dan lain sebagainya. Metode pengujian bending yang digunakan adalah triple point bending. Menurut Hadi (2009: 111) triple point bending yaitu benda uji ditumpu dengan satu tumpuan dibagian atas benda uji dan dua tumpuan dibagian bawah benda uji. Untuk mengetahui kekuatan bending maksimal dari logam hasil las dapat dicari dari persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P \times L_s}{4W} = N/mm^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = mm^3$$


Dimana :

$\Sigma$  = Tegangan bending ( $N/mm^2$ )

P = Beban maksimum (N)

$L_s$  = Jarak antar dua tumpuan (mm)

W = Moment inersia ( $mm^3$ )

b = Lebar specimen (mm)

h = Tebal spesimen (mm)

### 2.9.2 Kekuatan logam Las

Dalam konstruksi las selalu digunakan logam las yang mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih baik atau paling tidak sama dengan logam induk. Tetapi karena proses pengelasan kekuatan dan keuletan logam dapat berubah. Dalam hal logam las sifat ini dipengaruhi oleh keadaan, cara dan prosedur pengelasan.

### 2.9.3 Efisiensi Sambungan

Efisiensi sambungan didefinisikan sebagai faktor penurunan terhadap tegangan boleh dari logam induk yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{sambungan } (\eta) = \frac{\text{tegangan boleh dari sambungan } (\sigma_{bw})}{\text{tegangan boleh logam induk } (\sigma_b)}$$

Besarnya efisiensi sambungan ditentukan berdasarkan bahan las, cara pengelasan, cara pemeriksaan dan keadaan tempat penggunaan sambungan. Secara lebih terperinci adalah hal-hal yang perlu di perhatikan dalam menentukan

1. Bahan las
2. Cara mengelas : las busur tangan, las busur terendam dan lain sebagainya.
3. Tempat pengelasan : di pabrik atau di lapangan pada posisi pengelasan, datar, atas kepala dan lain-lainnya dan jenis sambungan.
4. Laku panas : pembebasan tegangan sisa, pemanasan mula dan lain-lain.
5. Penyelesaian.
6. Persiapan permukaan.
7. Jenis pemeriksaan.
8. Jenis dari sambungan : las sudut, dengan penguat dan lain-lainnya.
9. Jenis beban : statis, dinamis aatau beban tumbuk.
10. Keadaan pengguanaan : suhu, tekanan, atmosfir dan lain sebagainya.

Dengan memperhatikan hal-hal diatas, beberapa efisiensi sambungan untuk bidang-bidang penggunaan tertentu telah distandarkan. Dalam tabel 2.2 ditunjukkan efisiensi sambungan untuk bejana tekan yang berubah dengan tingakat pemeriksaan radiografi. (Wiryosumarto, 2008 )



**Tabel 2.4 : Efisiensi sambungan.** (Wiryosumarto, 2008 : 188)

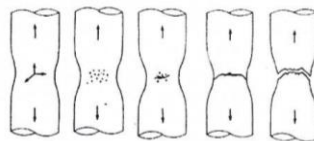
Jenis sambungan		Efisiensi sambungan (%)		
		Uji radiografi penuh	Uji radiografi sebagian	Tanpa uji radiografi
(1)	Las tumpul kedua sisi	100	95	70
(2)	Las tumpul dengan pelat pembantu	90	85	65
(3)	Las tumpul satu sisi	—	—	60
(4)	Sambungan tumpang dengan las sudut dua sisi	—	—	55
(5)	Sambungan tumpang dengan las sudut satu sisi dan las isi satu sisi	—	—	50
(6)	Sambungan tumpang dengan las sudut satu sisi	—	—	45

## 2.10 Patahnya Konstruksi Las

### 2.10.1 Patah ulet

Ciri-ciri dari patahan ulet adalah sebagai berikut :

1. Terlihat adanya deformasi plastik yang cukup banyak seperti terjadinya deformasi selip dan deformasi kembar.
2. Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser.
3. Penampang lintang dari benda mengecil dan untuk baja, muka patahnya berwarna keabu-abuan



**Gambar 2.14: Terjadinya Patahan ulet**

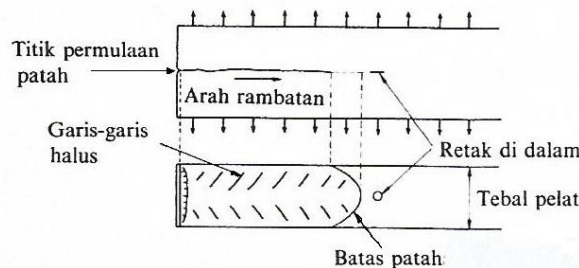
Sumber : Wiryosumarto, 2008 : 192

Patah ulet terjadi bila bahan mendapat beban melebihi kekuatan seperti yang terjadi pada pengujian tarik atau penampangnya tidak cukup luas karena adanya cacat dalam sambungan yang disebabkan oleh lasan yang tidak baik.

### 2.10.2 Patah Getas

Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga, baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan, dengan beban yang lebih rendah dari batas luluh bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya, maka banyak kecelakaan kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas. Hal-hal umum yang terdapat dalam patah getas adalah sebagai berikut :

1. Kemungkinan terjadi lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang.
2. Patahnya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal. Disamping itu pada permukaan tampak adanya garis-garis halus yang dapat menunjukkan dengan mudah sumber dari pataha/
3. Patah biasanya mulai dari bagian logam yang terputus, baik dalam bahan maupun dalam bentuk, yang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Keadaan terputus ini biasanya terjadi karena pengelasan yang kurang baik.
4. Tegangan yang menyebabkan patah getas selalu lebih rendah dari kekuatan luluh. Rambatan patahan dapat mencapai kecepatan 2000/detik.
5. Patah getas umumnya hanya terjadi pada logam dengan sel satuan BCC seperti pada baja lunak dan baja paduan rendah.



**Gambar 2.15: Ciri patahan getas**

Sumber : Wiryosumarto, 2008



**Gambar 2.16: Permukaan patahan getas**

Sumber : Wiryosumarto, 2008

### **2.10.3 Patah Fatik**

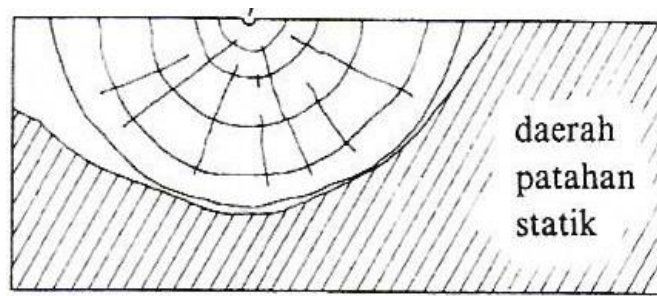
Logam kadang-kadang patah karena tegangan berulang yang besarnya dibawah tegangan ijin. Gejala patah yang disebabkan karen beban luar yang berulang, perubahan bentuk yang berulang atau tagangan termal yang berulang. Dalam gambar 2.18 patah fatik menjalar secara pelan-pelan dalam bentuk lingkaran mulai dari retakan yang merupakan pusat dari patahan.

Dengan menjalarnya retak menjadi permukaan patahan, maka luas permukaan yang tidak cacat menjadi berkurang sehingga akhirnya terjadi patahan. Berdasarkan penelitian telah diketahui bahwa patah fatik tidak terjadi bila tegangan yang berulang tidak melebihi suatu harga tertentu yang dinamakan batas fatik atau batas ketahanan.



**Gambar 2.17: Permukaan patah fatik**

Sumber : Wiryosumarto, 2008



**Gambar 2.18: Skema permukaan patahan fatik**

Sumber : Wiryosumarto, 2008 : 196

Pada sambungan las banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan fatik tetapi yang sangat berpengaruh adalah jenis dan mutu sambungan. Hasil pengujian fatik pada sambungan las biasanya tidak terlalu tajam tetapi melebar sehingga hasilnya harus ditentukan secara statistik.

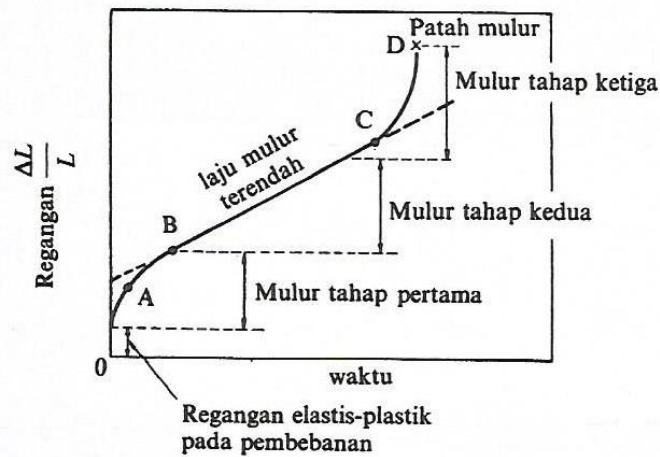
**Tabel 2.5: Kekuatan fatik untuk sambungan tumpul.** (Wiryosumarto, 2008 : 197)

Jenis lasan	Tegangan dan jumlah siklus		Tegangan berulang		Tegangan berbalik	
			$2 \times 10^6$	$5 \times 10^6$	$2 \times 10^6$	$5 \times 10^6$
Dilas kedua sisi			<8,0	<7,0	<5,0	<4,0
Dilas satu sisi			16,0	14,0	10,0	8,0
Manik las diratakan dengan mesin			24,0	20,0	15,0	12,0

#### 2.10.4 Patah Mulur

Logam mempunyai sifat untuk meregang bila dibebani. Bila regangan ini terjadi pada suhu yang tinggi dan pada tegangan yang lebih rendah dari tegangan luluh, sehingga terjadi perubahan bentuk plastik dan kemudian patah, maka peristiwa ini disebut mulur. Dalam gambar 2.20 ditunjukkan perubahan regangan yang terjadi pada suhu tetap. Karena adanya perubahan bentuk yang terus menerus maka penampang jadi mengecil yang menyebabkan bertambah besarnya kecepatan mulur mulai dari titik C dan berakhir dengan patah mulur pada titik D. Kurva OABCD (gambar 2.14) disebut kurva mulur dan merupakan ciri penting bagi baja yang digunakan pada konstruksi untuk temperatur tinggi.

Sifat mulur dari logam sangat dipengaruhi oleh komposisi kimianya, cara pembuatannya, laku panasnya dan lain sebagainya. Diantara fektor-faktor tersebut laku panaslah yang paling besar pengaruhnya. Dalam hal ini usaha penghindaran yang sering dilakukan adalah pemilihan bahan induk dan las yang tepat. (Wiryosumarto, 2008 : 189)



**Gambar 2.19: Kurva mulur**

Sumber : Wiryosumarto, 2008

## 2.11 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu (Wiryosumarto, 2008: 89). Sifat dari baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon. Berdasarkan kadar karbonnya, baja dibedakan menjadi tiga :

1. Baja karbon rendah, dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%.
2. Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon 0,3% - 0,45%.
3. Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon 0,45% - 1,70%

Pada baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila perisapannya sempurna dan persyaratan yang diperlukan terpenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. (Wiryosumarto, 2008 )



**Tabel 2.6: Klasifikasi Baja Karbon.** (Wiryosumarto, 2008 : 90)

Jenis dan Kelas		Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan	Kekerasan Brinell	Penggunaan
Baja Karbon	Baja Lunak	0,8	18 - 28	32 - 36	40 - 30	95 - 100	Plat Tipis
	Baja Khusus	0,08 - 0,12	20 - 29	36 - 42	40 - 30	80 - 120	Batang Kawat
	Baja Sangat Lunak	0,12 - 0,20	22 - 30	38 - 48	36 - 24	100 - 130	Konstruksi
	Baja Rendah Setengah Lunak	0,20 - 0,30	24 - 36	44 - 55	32 - 22	112 - 145	Alat Umum
Baja Karbon Sedang	Baja Setengah Keras	0,30 - 0,40	30 - 40	50 - 60	30 - 17	140 - 170	Mesin Perkakas
Baja Karbon	Baja Keras	0,04 - 0,50	34 - 46	58 - 70	26 - 14	160 - 200	Rel, Pegas,
Baja Tinggi	Baja Sangat Keras	0,50 - 0,80	36 - 47	65 - 100	65 - 11	180 - 235	Kawat Piano

## 2.12 Karbon Equivalent

Konsep karbon ekuivalen digunakan pada bahan besi, biasanya baja dan besi tuang untuk menentukan berbagai sifat-sifat paduan ketika bukan hanya karbon yang digunakan sebagai alloy. Prinsip dari karbon ekuivalen adalah untuk mengubah persentase elemen paduan selain karbon ke karbon yang ekuivalen dengan persentase, karena fase besi-karbida lebih dipahami daripada fase paduan lain. Konsep ini paling umum digunakan dalam pengelasan, tetapi juga digunakan saat perlakuan panas dan pengecoran besi tuang. Dalam pengelasan, karbon ekuivalen adalah ukuran kecenderungan pengelasan untuk membentuk martensit ketika pendinginan dan menahan perpatahan getas. Pada beberapa baja, struktur mikro dan sifat mekanik sebagian dari baja yang dilas (HAZ), akan berubah sebagai akibat dari pengelasan. Perubahan tersebut akan tergantung pada komposisi baja dan tingkat di mana baja dipanaskan dan didinginkan. Siklus termal juga dapat menyebabkan pembentukan martensit dalam logam las dan HAZ (*Heat Affected Zone*). Jumlah martensit terbentuk dan kekerasan baja tergantung pada kadar karbon serta pemanasan dan tingkat pendinginan.

Transformasi martensit dan kekerasan yang tinggi dapat mengakibatkan retak pada pengelasan logam HAZ. Tingkat pengerasan pada HAZ merupakan pertimbangan penting untuk menentukan *weldability*

Umumnya *weldability* berkurang dengan meningkatnya karbon atau martensit dalam logam las atau HAZ, atau keduanya. Karbon ekuivalen juga (CE) digunakan untuk memahami bagaimana unsur-unsur paduan yang berbeda mempengaruhi kekerasan baja yang dilas. Hal ini berhubungan dengan hydrogen embrittlement, yang merupakan cacat las yang paling umum untuk baja, dengan demikian hal ini paling sering digunakan untuk menentukan *weldability*. *Weldability* adalah kemampuan bahan, logam untuk dapat dilas, tanpa mengalami sifat-sifat yang dimilikinya secara berlebihan. Logam yang dilas dapat mengalami penurunan mutu akibat terjadinya penggetasan, cacat, atau retakan.

Mutu hasil lasan akan terkait langsung dengan sifat mampu las dari bahannya yang dilihat dari sensitifitas sambungan las terhadap kemungkinan terjadinya penggetasan, cacat, atau retak, di mana hal ini berdampak langsung terhadap penurunan sifat mekanik dari logam yang dilas. Terdapat hubungan yang erat antara *weldability* dan karbon ekuivalen. Nilai karbon ekuivalen menunjukkan hubungan antara kepekaan baja terhadap timbulnya retak dengan komposisi kimia baja. Jadi, karbon ekuivalen pada dasarnya mengindikasikan pengaruh unsur-unsur yang terkandung dalam baja terhadap kemungkinan terjadinya retak. Di bawah ini adalah formula untuk menghitung nilai karbon ekuivalen :

$$CE = \%C + \frac{\% Mn}{6} + \left( \frac{\% Cr + \% Mo + \% V}{5} \right) + \left( \frac{\% Cu + \% Ni}{15} \right)$$

Keterangan :

CE : *Carbon Equivalent*

C : *Carbon*

Mn : Mangan

Cr : *Chrome*

Mo : Molybdenum

V : Vanadium

Cu : Tembaga

Ni : Nikel



Semakin tinggi konsentrasi karbon dan elemen paduan lain seperti mangan, kromium, silikon, molibdenum, vanadium, tembaga, dan nikel, semakin cenderung untuk meningkatkan kekerasan dan menurunkan weldability. Misalkan, baja karbon sedang (low medium steel) mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu, daerah pengaruh panas atau HAZ (Heat Affected Zone) pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya difusi hidrogen menyebabkan baja ini menjadi sangat peka terhadap retak las sehingga weldability baja ini menurun. Begitu pula yang terjadi pada besi tuang. Setiap unsur paduan tersebut cenderung mempengaruhi kekerasan dan weldability dengan besaran yang berbeda. Di bawah ini adalah tabel yang menunjukkan kategori jumlah atau standar batasan karbon ekuivalen untuk dapat dilas.

**Tabel 2.7: Klasifikasi Baja Karbon**

Carbon equivalent (CE)	Weldability
Up to 0.35	Excellent
0.36–0.40	Very good
0.41–0.45	Good
0.46–0.50	Fair
Over 0.50	Poor

Apabila CE sama atau lebih kecil dari 0,45% maka baja tersebut cukup weldable dan pengelasan tidak memerlukan cara-cara khusus, namun bila CE berada di antara 0,40 dan 0,60%, maka baja memerlukan perlakuan preheat.

Apabila CE berada lebih dari 0,60%, maka baja memerlukan perlakuan preheat dan postheat pengelasan. <https://qurratulain01.wordpress.com/2012/12/02/hello-world/>

### 2.13 Parameter Pengelasan

Parameter yang digunakan dalam pengelasan merupakan prosedur tertulis yang akan digunakan sebagai acuan agar hasil pengelasan dapat mencapai hasil maksimal. Prosedur tertulis pada pengelasan ini mencakup jenis pengelasan, posisi pengelasan, material yang digunakan, elektroda, standart material dan dimensi pada logam induk yang akan dikenai las. Terdapat 2 prosedur dalam mencapai parameter tersebut yaitu :

## 1. Welding Procedure Specification (WPS)

Welding Procedure Specification (WPS) adalah prosedur tertulis yang telah terqualifikasi yang disiapkan sebagai panduan untuk operator las dalam melakukan pengelasan yang memenuhi semua persyaratan standard maupun code. Welding Procedure Specification (WPS) merupakan standar wajib yang harus dipenuhi dalam proses pengelasan pada pengelolaan peralatan atau mesin-mesin industri yang berhubungan dengan pengelasan. Welding Procedure Specification wajib harus dipersiapkan sebelum dilakukannya proses pengelasan produk peralatan atau mesin-mesin industri tersebut yang antara lain adalah pressure vessel, heat exchanger, dan alat-alat lainnya.

**REZA & Co**  
**WELDING PROCEDURE SPECIFICATION.**  
**WPS No. GTAW - 001**

Welding Process : GTAW	Supporting PQR No. : REZ - GTAW - 001	Rev. : 00
------------------------	---------------------------------------	-----------

Joint :  
Joint design : Groove & Fillet      Backing : Yes (if required)      Retainers : None

Base Metal :  
P No. 5A to P No. 5A      Thickness range : Groove : 1.58 - 10.0 mm      Fillet : All  
Pipe Dia. Range :      Groove : All      Fillet : All  
Other : No pass shall be greater than : 12.7 mm

Filler Metal :  
AWS Class : ER 90S-B3 (solid wire)      SFA-5.28      F/A-No. : 6/4

Deposited Weld Metals :  
Thickness Groove : Max 10.0 mm      Fillet : Max. throat 12.7 mm

Position :  
Groove : All      Fillet : All      Welding Progression : Uphill only

Preheat :  
Preheat temp : Min. 300°F (149°C)      Interpass Temp. (max) : 600°F (315.5°C)

Post Weld Heat Treatment :  
Temp. Range : None      Time Range : -      Other : -

Gas :  
Shielding gas : Argon      Percent Composition : 99.98%      Flow rate : 9 ~ 15 L/min.  
Backing gas : Argon      Percent Composition : 99.98%      Flow rate : 6 ~ 9 L/min. (If Req.)

Electrical Characteristics :  
Current : DCEN      Ampere Range & Voltage Range : See below  
Tungsten Electrode size / Type : Ø 2.4 mm / EWTh-2

Technique:  
Weaving : String & weave      Multiple pass      Single Electrode  
Orifice / Gas Size : No. 6, 5, 8 or 9 mm  
Initial & Interpass Cleaning : Brushing or Grinding

Weld Layer	Process	Class	Filler Dia. (mm)	Current		Voltage (volt)	Travel (mm/min)
				Polarity	Ampere (ampere)		
	GTAW	ER90S-B3	2.4	DCEN	90 - 150	17 - 25	40 - 85
	GTAW	ER90S-B3	3.2	DCEN	100 - 200	20 - 30	45 - 90

Reza Soegijarto  
Name

May 12, 2004  
Date

QA Manager  
Title

**Gambar 2.20 : WPS Pada Pengelasan GTAW**

Sumber : WPS Design For Beginner- PPNS, 2010

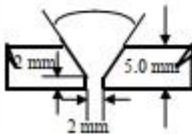
## 2. Procedure Qualification Record (PQR)

Procedure Qualification Record (PQR) adalah rekaman data-data dari hasil pengujian pengelasan yang telah dilaksanakan berdasarkan Welding Procedure Specification (WPS) dimana berisi variabel-variabel yang akan digunakan selama dilakukan pengelasan pelat uji. Procedure Qualification Record (PQR) merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari Welding Procedure Specification (WPS).

**REZA & Co**

**PROCEDURE QUALIFICATION RECORD**  
PQR No : REZ - GTAW - 001

WPS No : GTAW - 001

Welding Process : GTAW	Types : Manual																																										
<b>BASE METAL</b> Material : SA-213 T22 to SA-213 T22 P-No. : P - No.5 A to P - No.5A Thickness / Dia. : 5.0 mm / Ø 2 inch	<b>Types</b> G45 Shield. : Ar 99.98% Flow rate : 9 L/min. Backing : N.A																																										
<b>FILLER METAL</b> Filler metal SFA Spec. : SFA 5.28 Filler metal classification : ER90S-B3 F-No. / A-No. : 6 / 4 Size of Filler Metal : Ø 2.4 mm	<b>VISUAL INSPECTION</b> Appearance : Acceptable Undercut : - Porosity : - Other : -																																										
<b>POSITION</b> Position of groove : 6G Welding progression : Uphill	<b>GROOVE WELD TEST RESULT</b> Reduction section tension test : Tensile strength Kg/mm <sup>2</sup> : 1. 61.43 2. 62.80																																										
<b>PREHEAT</b> Preheat temperature : 300°F Interpass temperature : 600°F	Guided Bend test : 1. Face Bend - Good 1. Root Bend - Good 2. Face Bend - Good 2. Root Bend - Good																																										
<b>POST WELD HEAT TREATMENT</b> Temperature / Time : N.A	Radiographic or Ultrasonic examination : N.A																																										
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTIC</b> Welding Current : DC Polarity : EN Amps. / Volts : See below	<b>FILLET WELD TEST RESULT</b> 1. Macro etch : - 2. Fracture : -																																										
<b>TECHNIQUE</b> Travel Speed : See below String or Weave Bead : Both Single or multiple pass : Multiple Single or multiple Electrodes : Single	Welder's Name : HADI  Test Conducted By : Lab. Politeknik Perkapalan ITS SURABAYA Report No : 67/N.13/2/PM/2004																																										
<b>Joint: Detail</b> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pass</th> <th>Rod</th> <th>Dia. (mm)</th> <th>Amps. (ampere)</th> <th>Voltage (volt)</th> <th>Speed (mm/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>70 - 79</td> <td>18</td> <td>57 (Test Coupon I)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>80 - 87</td> <td>20</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>90 - 100</td> <td>22</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>90 - 100</td> <td>22</td> <td>56 (Test Coupon II)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>90 - 100</td> <td>22</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>ER 90S-B3</td> <td>3.2</td> <td>90 - 100</td> <td>22</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>	Pass	Rod	Dia. (mm)	Amps. (ampere)	Voltage (volt)	Speed (mm/min)	1	ER 90S-B3	3.2	70 - 79	18	57 (Test Coupon I)	2	ER 90S-B3	3.2	80 - 87	20	61	3	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56	1	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56 (Test Coupon II)	2	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56	3	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56
Pass	Rod	Dia. (mm)	Amps. (ampere)	Voltage (volt)	Speed (mm/min)																																						
1	ER 90S-B3	3.2	70 - 79	18	57 (Test Coupon I)																																						
2	ER 90S-B3	3.2	80 - 87	20	61																																						
3	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56																																						
1	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56 (Test Coupon II)																																						
2	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56																																						
3	ER 90S-B3	3.2	90 - 100	22	56																																						

**Gambar 2.21 : PQR Pada Pengelasan GTAW**

Sumber : WPS Design For Beginner- PPNS, 2010

### 2.14 Standart ASME

Bahan utama pada penelitian ini menggunakan bahan dengan standart ASME yaitu material (*Steel Alloy-36*) SA-36 yang termasuk pada bahan baja karbon rendah. ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) adalah salah satu organisasi yang terkemuka di

dunia, yang mengembangkan dan menerbitkan kode dan standar. ASME mendirikan sebuah komite pada tahun 1911 untuk merumuskan aturan untuk pembangunan ketel uap (steam boilers) dan bejana tekan (pressure vessels) lainnya. Komite ini sekarang dikenal sebagai Komite ASME Boiler & Pressure Vessel, dan bertanggung jawab untuk Kode ASME Boiler dan Pressure Vessel. Selain itu, ASME telah membentuk komite lainnya yang mengembangkan berbagai kode standar lainnya, seperti ASME B31, Kode untuk Pressure Piping.

Komite ini mengikuti prosedur terakreditasi oleh American National Standards (ANSI). Kode ASME Boiler & Pressure Vessel mengandung 11 bagian:

Bagian I - Power Boilers

Bagian II - Material Specifications

Bagian III - Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components

- Divisi 1 Nuclear Power Plant Components
- Divisi 2 Concrete Reactor Vessel and Containments
- Divisi 3 Containment Systems and Transport Packaging for Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste

Bagian IV - Heating Boilers

Bagian V - Nondestructive Examination

Bagian VI - Recommended Rules for Care and Operation of Heating Boilers

Bagian VII - Recommended Rules for Care of Power Boilers

Bagian VIII - Pressure Vessels

- Divisi 1 Pressure Vessels
- Divisi 2 Pressure Vessels (Alternative Rules)
- Divisi 3 Alternative Rules for Construction of High-Pressure Vessels

Bagian IX - Welding and Brazing Qualifications

Bagian X - Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels

Bagian XI - Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components

(<http://rioneto.blogspot.co.id/2013/08/asme.html>)